

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Всероссийская молодежная конференция «Научно-технологическое развитие судостроения – 2024»

Тезисы докладов



СОВЕТ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
И СПЕЦИАЛИСТОВ

Санкт-Петербург
2024

УДК 629.5:061.3

ББК 39.42

В 85

В 85 Всероссийская молодежная конференция «Научно-технологическое развитие судостроения – 2024» : тезисы докладов. – Санкт-Петербург : Крыловский государственный научный центр, 2024. – 36 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Блинов К.Д.

Особенности настройки полуэмпирических моделей
сопротивления сплошного льда движению ледокольного судна. 6

Демидов В.И., Елисеева О.В., Лебедева Е.Г.

Влияние параметров расчетной области
при вычислениях буксировочного сопротивления судна
методом численного моделирования 7

Доронков Д.В., Демкина Т.Д.

Особенности гидродинамики теплоносителя
в пучке твэлов топливной кассеты реакторов РИТМ
атомных станций малой мощности 8

Огай С.А., Толмачев К.С., Огай А.С.

Конструкция грузовой емкости газовоза мембранного типа
с барьерами из пневмонапряженных панелей 10

Афанасьева С.Ю., Чернев П.В., Щербаков И.В.

Применение аккумуляторных батарей
в качестве основного источника энергии на судах 11

Манохина А.А.

Исследование возможности определения параметров
амортизирующего крепления оборудования в условиях
ограниченного объема исходных данных 12

Соловьев В.О., Ершова И.В.

Перспектива применения бета-вольтаического
источника электрической энергии на АНПА 13

Раднаев А.Б., Доржиева Б.С., Чесноков А.Г.

Разработка асинхронного электродвигателя с массивным ротором. 14

Сахаров Р.А.

Оценка технического состояния элементов корпуса судна
бесконтактным методом по фактическому состоянию 15

Корчагин Р.Е.

Эксплуатационные требования к судам внутреннего
водного плавания для перевозки тяжеловесных грузов 16

Щетинин Д.В.

Развитие методов и средств виброакустической
защиты паротурбинных установок атомных подводных лодок 18

Шиняев Н.Н., Пермяков К.Н., Сергодеев В.В.

Герметичные комбинированные
соединители для подводного применения 19

Смольников И.А., Иващенко А.В.

Совершенствование проектируемой оснастки с помощью методов
компьютерного моделирования и топологической оптимизации 20

Портнова О.С., Плаксин Р.А., Андрюхина П.А.

Комплексная методика диагностики
и наладки судового энергетического оборудования 21

Вынгра А.В., Соболев А.С., Ерофеев П.А.

Модели устройств повышения качества
электроэнергии судовой сети на основе нейронных сетей 22

Авдеев Б.А., Черный С.Г., Соболев В.С.

Разработка электроэнергетической системы автономных
подводных аппаратов на основе твердотельного трансформатора 23

Лойко Д.В., Куценко Н.В., Грибиниченко М.В.

Разработка методики перехода к обслуживанию
по фактическому состоянию агрегатов судовой энергетики 24

Гомонов Д.И.

Цифровизация в судоремонтной отрасли. 26

Голубев Р.О., Столяров С.П.

Разработка комплексной термоэлектрической системы
глубокой утилизации теплоты для объектов морской техники 27

Райская С.Д., Ломакин И.А., Григоров М.Ю.

Мировой опыт развития обитаемых
подводных аппаратов предельных глубин погружения 29

Бахтин Д.С.

Критерии выбора систем подводного
позиционирования при поиске объектов 30

Родькина А.В., Крамарь В.А., Иванова О.А., Крамарь О.А., Сидорова А.А.

Методика компьютерного анализа функциональных свойств
подводной части морских объектов
на основе системы технического зрения 32

Блинов К.Д.

Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия

Особенности настройки полуэмпирических моделей сопротивления сплошного льда движению ледокольного судна

В настоящее время в практике оценки сопротивления движения судна в сплошном ледяном покрове при помощи модельного эксперимента широко используется метод пересчета сопротивления с модели на натуру и введение поправок по ряду измеряемых параметров. Актуальной является разработка новых подходов к пересчету результатов эксперимента на натуру с использованием полуэмпирических моделей сопротивления.

Целью работы является исследование настройки полуэмпирических моделей для последующего их применения при пересчете результатов экспериментов на натуру.

В рамках работы была проведена серия экспериментов в опытовом ледовом бассейне. По полученным результатам в дальнейшем настраивались полуэмпирические модели сопротивления, при помощи которых можно проводить анализ отдельных составляющих сопротивления движению судна. Структура большинства полуэмпирических моделей не включает в себя геометрию корпуса судна, а в тех немногих, в которых она включена, задаются только значения геометрии наклона бортов судна вдоль действующей ватерлинии. В работе предлагается использовать предложенный инструмент для предсказания результатов проводимых в будущем экспериментов в ледовом бассейне. Для этого используется метод обработки, включающий в себя описание полного характера движения ледокола в модельном льду различной толщины и при различных значениях сопротивления с помощью представления поля сопротивления трехмерной поверхностью $R = f(h, v)$. Данный способ показывает неплохую сходимость на примере речных ледоколов. В результате проделанной работы предложены новый метод пересчета

модельного эксперимента на натурное судно и способ анализа результатов экспериментов в виде трехмерной поверхности. В дальнейшем предлагается модернизировать используемые методы путем включения в полуэмпирические модели значений физико-механических свойств, полученных методом центрального пролома модельного льда в каждом из проведенных экспериментов, и сопоставление их при пересчете с данными аналогичных экспериментов на натурном льду.

Представленные результаты получены по проекту РНФ № 22-19-00376 «Экспериментально-теоретическое исследование полуэмпирических моделей взаимодействия судов со льдом».

Ключевые слова: ледокол, полуэмпирическая модель ледового сопротивления, модельный эксперимент, сплошной лед.

**Демидов В.И.,
Елисеева О.В.,
Лебедева Е.Г.**

Институт судостроения и морской арктической техники,
Северодвинск, Россия

Влияние параметров расчетной области при вычислениях буксировочного сопротивления судна методом численного моделирования

Использование метода численного моделирования является доступным аналогом дорогостоящих испытаний в опытовых бассейнах. Правильный выбор параметров расчетной области позволит обеспечить требуемую точность расчетов при рациональном использовании вычислительных мощностей.

Целью исследования является разработка рекомендаций к проведению расчетов по оценке ходкости судна методом численного моделирования.

В работе используется метод численного моделирования (виртуальный бассейн). Материалами для проведения исследований являются результаты испытаний в опытовых бассейнах и 3D-модели исследуемых корпусов.

В ходе работы были выполнены различные расчеты для корпуса рыбопромыслового судна, после чего полученные значения буксировочного сопротивления сравнивались с данными, полученными в опытовом бассейне. В результате удалось получить оценку влияния на точность результата таких переменных, как шероховатость корпуса, наличие выступающих частей, модель турбулентности, размер и количество конечных элементов, число Рейнольдса.

Выполненные исследования позволяют дать некоторые рекомендации по выбору размера конечных элементов и применению шероховатости корпуса. Зависимость результатов от числа Рейнольдса и модели турбулентности не позволяет сделать однозначные выводы, что обуславливает необходимость проведения дальнейших исследований.

Ключевые слова: метод численного моделирования, конечные элементы, буксировочное сопротивление, модель турбулентности, шероховатость корпуса, выступающие части.

**Доронков Д.В.,
Демкина Т.Д.**

Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия

Особенности гидродинамики теплоносителя в пучке твэлов топливной кассеты реакторов РИТМ атомных станций малой мощности

Важной задачей развития Российской Федерации является освоение ресурсов Арктики, значительная концентрация которых обусловила строительство промышленных предприятий в данном регионе. Для развития этого региона необходим энергоисточник, обладающий автономностью, надежностью и маневренностью. Уникальный научный, конструкторский и производственный опыт, накопленный в атомной отрасли при создании судовых реакторных установок (РУ), лежит в основе развития приоритетного проекта госкорпорации «Росатом» – атомных станций малой мощности (АСММ). На настоящий

момент ведутся конструкторские работы по созданию АСММ с РУ РИТМ разработки АО «ОКБМ Африкантов». Проектом РУ предусматривается каскадная активная зона с топливом повышенной ураноемкости для увеличения энергоэффективности станции.

Конструктивные особенности топливных кассет активной зоны обусловили необходимость экспериментального изучения гидродинамики теплоносителя в пучке твэлов и определения влияния отдельных его элементов на течение потока, а именно дистанционирующих решеток, центрального вытеснителя и чехла топливной кассеты. Влияние элементов конструкции пучка твэлов на течение теплоносителя может привести к изменению поля скорости потока и, как следствие, к изменению условий работы элементной базы активной зоны, что в свою очередь может повлиять на ее теплотехническую надежность, в основе обоснования которой лежит теплогидравлический расчет, требующий уточнения отдельных важных гидродинамических характеристик потока, к которым относится поле скорости. Таким образом, особенности конструкции активной зоны требуют проведения комплекса научно-исследовательских работ, в том числе экспериментального изучения поля скорости потока в пучке твэлов топливной кассеты активной зоны РУ РИТМ.

В настоящей работе представлены результаты экспериментального изучения особенностей формирования потока теплоносителя в пучке твэлов топливной кассеты активной зоны РУ РИТМ АСММ.

Целью работы является исследование влияния разных элементов конструкции пучка твэлов на перераспределение поля скорости потока. Для достижения цели проведена серия экспериментов на масштабной модели, включающей пролет твэльного пучка между дистанционирующими решетками, трубу центрального вытеснителя, уголки жесткости и чехол топливной кассеты.

Исследования проводились с использованием пневмометрического метода в группе сечений по длине модели за дистанционирующими решетками. Расположение точек измерения охватывает третью часть поперечного сечения модели. Особенности течения теплоносителя визуализированы картограммами аксиальной и тангенциальной скорости потока.

Результаты экспериментального исследования использованы при гидравлическом профилировании элементов конструкции ТВС. Полученная база опытных данных может использоваться для валидации отечественной CFD-программы ЛОГОС, а также для уточнения методик теплогидравлического расчета активных зон в поячеечном приближении.

Ключевые слова: ядерный реактор, активная зона, топливная кассета, твэльный пучок, теплоноситель, гидродинамика.

**Огай С.А.,
Толмачев К.С.,
Огай А.С.**

ФГБОУ ВО «Морской государственный университет
имени адмирала Г.И. Невельского, Владивосток, Россия

Конструкция грузовой емкости газове­за мембранного типа с барьерами из пневмонапряженных панелей

Актуальность работы подтверждается поставленными перед судостроителями страны задачами развития судостроения на основе технологического суверенитета с приоритетом создания флота для морских перевозок добываемых углеводородов в Арктике и на шельфе дальневосточных морей.

Поставлена цель создания конкурентоспособной конструкции грузового танка для хранения и перевозки сжиженного природного газа (далее – СПГ), применив уникальные свойства надувных конструкций, которые позволяют решать задачи в условиях моря и космоса.

Для достижения поставленной цели предложено заменить первичный и вторичный барьеры мембранной грузовой емкости для хранения СПГ, которые традиционно изготавливаются из различных жестких материалов (алюминий, композитные материалы и др.), пневмонапряженными панелями, а мембрану из нержавеющей металла, непосредственно контактирующую с СПГ, – герметичной мягкой оболочкой. Предложенная конструкция была заявлена в качестве изобретения и получила признание Роспатента: принято решение о выдаче патента на изобретение.

Основным элементом каждого барьера являются пневмонапряженные панели (пневмопанели), которые образованы двумя несущими полотнищами, соединенными тканым образом часто поставленными нитями-стяжками по технологии Drop stitch, а по торцам закрыты оболочками, формирующими герметичное внутреннее пространство панелей, наполняемое воздухом или инертным газом под избыточным давлением. Между собой пневмопанели в каждом барьере соединены с помощью фартуков с замками-молниями или замками-липучками, исключаящими по местам их соединений мостики холода и позволяющими сформировать соединения панелей как в одной плоскости, так и под необходимым углом.

Прочностные качества барьеров из пневмопанелей обеспечиваются применением высокопрочных и высокомодульных материалов типа кевлар, который сохраняет свои прочностные качества при криогенных температурах, что позволяет снять ограничение Правил Регистра по прочности мембранных систем под воздействием динамических нагрузок от плескания в частично заполненных грузовых танках. Необходимое избыточное давление в пневмопанелях барьеров для восприятия гидростатических нагрузок от СПГ и динамических нагрузок от плескания составляет около 200–300 кПа.

Теплоизолирующие качества пневмопанелей обеспечиваются сопоставимым (меньшим) коэффициентом теплопроводности воздуха или инертного газа по сравнению с используемыми в мембранных танках теплоизолирующими материалами, что позволяет сделать пневмопанельные барьеры меньшей толщины.

Ключевые слова: мембранные системы хранения сжиженного природного газа, пневмопанели, мягкие оболочки, плескание СПГ.

**Афанасьева С.Ю.,
Чернев П.В.,
Щербаков И.В.**

ООО ПКБ «Петробалт», Санкт-Петербург, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВНОГО ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ НА СУДАХ

Актуальность работы заключается в первую очередь в возрастающих требованиях к экологичности судоходства, одним из способов выполнения которых является внедрение аккумуляторных батарей (АКБ) в сферу судоходства в качестве основного источника энергии. Помимо этого, такие суда характеризуются низким уровнем шума и вибраций, что повышает их комфорт и эргономичность.

Цель работы – оценить возможности российской судоходной и судостроительной отрасли в отношении применения судов с аккумуляторной энергетической установкой и определить, какие типы судов были бы наиболее актуальны.

В ходе исследования проведен анализ прототипов судов, оборудованных АКБ в качестве основного источника энергии и эксплуатирующихся в акваториях Норвегии, Дании, Китая, Японии. Отмечены особенности географии, энергетики, инфраструктурных решений, сопровождающих применение судов на АКБ в этих странах. Выполнено сравнение энергоемкости ископаемого топлива и аккумуляторных батарей. Сформулированы особенности российских акваторий в отношении внедрения судов на АКБ и возможности в этой области.

Результаты исследования позволили оценить целесообразность использования АКБ в качестве основного источника энергии на судах различного назначения в акваториях России.

Исследование показало, что в России наиболее перспективными типами судов для внедрения на них аккумуляторов являются речные и прибрежные грузопассажирские паромы, а также портовые буксиры.

Ключевые слова: аккумуляторные батареи, электрическое судно, электрическая энергетическая установка, перспективное проектирование, речное судоходство, прибрежное морское судоходство, водный транспорт, экология транспорта.

Манохина А.А.

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,
г. Санкт-Петербург, Россия

Исследование возможности определения параметров амортизирующего крепления оборудования в условиях ограниченного объема исходных данных

На основании анализа ограниченного объема исходных данных (например, на ранних стадиях проектирования оборудования) показано, что для амортизирующего крепления оборудования может быть выполнена оценка его параметров в обеспечение решения задачи работоспособности в части определения смещения амортизированного

оборудования и деформации амортизирующих конструкций при приложении статических сил и моментов к амортизированному оборудованию, а также определения собственных частот свободных колебаний оборудования на амортизирующих конструкциях. Сформулирована физико-математическая модель и метод решения поставленной задачи. Представлен пример, иллюстрирующий возможность применения разработанного метода. Выполненные сравнительные расчеты с помощью программного комплекса SANDI и по предложенному методу для преобразователя частоты, установленного на амортизирующее крепление, в состав которого входят амортизаторы резинометаллические сварные со страховкой типа АКСС-400И, дали совпадающие результаты.

Ключевые слова: амортизированное оборудование, амортизирующее крепление, смещение, деформация, собственная частота.

**Соловьев В.О.,
Ершова И.В.**

АО «ЦС «Звездочка», Северодвинск, Россия
САФУ, Северодвинск, Россия

Перспектива применения бета-вольтаического источника электрической энергии на АНПА

В настоящее время широкое распространение получили автономные необитаемые подводные аппараты (далее АНПА). На данный момент успешно спроектирован и эксплуатируется АНПА с названием «Витязь-Д». Данный аппарат является полностью автономным и способен погружаться на глубину примерно 12 000 м. В качестве источников питания аппарата используются электрохимические аккумуляторные батареи. В соответствии с этим автономность АНПА ограничена, из этого следует, что в аварийных ситуациях (при отсутствии заряда на аккумуляторных батареях) отсутствует возможность определить местонахождение аппарата.

По этой причине авторами проведен анализ возможных улучшений для обеспечения бесперебойной связи аппарата и станции по каналам системы гидроакустической связи.

Таким образом, для обеспечения бесперебойной работы системы гидроакустической связи, в том числе и в аварийных ситуациях, для обеспечения работ, связанных с определением местоположения аппарата, стоит рассмотреть возможность применения в системе бета-вольтаического источника электрической энергии на основе изотопа Ni63. Срок полезного использования данного источника зависит от периода полураспада применяемого радионуклида (для Ni63 – 101,2 года). С целью минимизации пространства, а именно для определения наиболее эффективной толщины активной части бета-вольтаического элемента авторами была написана программа с применением библиотек GEANT4.

На основании полученных результатов был построен график зависимости выхода бета-частиц от толщины источника, а также предложено конструктивное исполнение в виде матрицы для повышения эффективного использования бета-частиц, вылетающих из источника. В соответствии с вышеизложенным применение бета-вольтаических элементов электрической энергии для питания гидроакустической системы связи АНПА является перспективным и требует более детальной проработки.

Ключевые слова: бета-вольтаический источник, радионуклид, АНПА, система гидроакустической связи, эффективная толщина.

**Раднаев А.Б.,
Доржиева Б.С.,
Чесноков А.Г.**

АО «Силловые машины», завод «Электросила»,
Санкт-Петербург, Россия

РАЗРАБОТКА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С МАССИВНЫМ РОТОРОМ

Несмотря на ухудшение энергетических характеристик, двигатели с массивным ротором из стали с высокой электропроводностью и низкой магнитной проводимостью могут найти широкое применение в приводах, где предъявляются требования к механической прочности ротора (высокооборотные машины), а также в приводах с повышенными требованиями по виброшумовым характеристикам (ВШХ). Кроме того, высокие

пусковые показатели дают возможность применять такие решения в тяговых двигателях.

Целью работы является разработка асинхронного двигателя с массивным ротором. Расчет с массивным ротором выполнен методом численного моделирования. В качестве материала для ротора рассматривались стали типа CF-25, CF-8, медь.

Анализ результатов работы показал, что применение массивного ротора приводит к ухудшению энергетических характеристик в сравнении с короткозамкнутым ротором – в то же время двигатель с массивным ротором обладает лучшими пусковыми характеристиками, более технологичен и обладает лучшими показателями ВШХ. Сделаны выводы, что при разработке двигателя с массивным ротором применение стали с высокой электропроводностью является более предпочтительным по всем показателям (энергетические показатели, технологичность, ВШХ) в сравнении с вариантами ротора из сплошной стальной поковки и поковки с омеднением на поверхности.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, массивный ротор, короткозамкнутый ротор, привод.

Сахаров Р.А.

ФГБОУ ВО «ПГУПС», Санкт-Петербург, Россия

Оценка технического состояния элементов корпуса судна бесконтактным методом по фактическому состоянию

В процессе эксплуатации элементов корпуса судна остается актуальным вопрос определения их остаточного технического ресурса по фактическому состоянию, что расчетными методами, без учета диагностической информации «в режиме реального времени», не представляется возможным.

Целью работы является разработка и внедрение системы технического диагностирования непосредственно в процессе эксплуатации, обладающей способностью обнаружения зарождающихся дефектов в структуре

металла и возможностью последующего прогнозирования остаточного технического ресурса по фактическому состоянию.

Рассмотрен альтернативный подход к решению задач технического диагностирования элементов корпуса судна, который заключается в определении магнитной картины состояния структуры металла вблизи поверхности изделий по критерию степени усталости. Разработано устройство для магнитометрии.

Проведенные эксперименты показывают корреляцию измеренных значений индукции магнитного поля вблизи поверхности образцов твердости на расстоянии 40 мм с твердостью поверхности, что создает возможность отображения взаимосвязи магнитного и структурного состояния металла, благодаря чему становится возможным применение физических критериев для оценки конфигурации магнитного поля вблизи возможных зон концентрации напряжений в исследуемом изделии.

Анализ результатов работы показал, что разработка и внедрение системы, реализующей предлагаемый метод, должны осуществляться на основе принципов модульности и универсальности, а также обеспечить способность перехода на новые современные принципы эксплуатации по реальному техническому состоянию.

Ключевые слова: техническое диагностирование, структура металла, магнитная индукция, твердость поверхности, остаточный технический ресурс.

Корчагин Р.Е.

ФГОУ ВО «СГУВТ», Новосибирск, Россия

Эксплуатационные требования к судам внутреннего водного плавания для перевозки тяжеловесных грузов

С учетом отсутствия высокотехнологического промышленного производства и неразвитой транспортной сети в условиях Крайнего Севера внутренний водный транспорт является единственным видом транспорта, способным выполнить доставку оборудования весом более 15–20 т к пункту, наиболее близко расположенному к конечному.

Перевозка тяжеловесного и крупногабаритного оборудования становится регулярной операцией для речного транспорта. Это сложное высокотехнологичное оборудование, монтаж которого осуществляется непосредственно на строительной площадке. На речном транспорте стали регулярными перевозка тяжелого промышленного оборудования, дорожной и строительной техники. Для этого активно осуществляется модернизация, дооборудование барж аппаратными устройствами. Принимая во внимание старение флота, строительство судов должно осуществляться с учетом новых требований.

Одним из основных параметров, ограничивающих возможности перевозки тяжеловесных грузов, является допустимая нагрузка на палубу – количество тонн на один квадратный метр. Исследование этой характеристики по существующим построенным судам, эксплуатируемым на реках Сибири, позволило сделать вывод об устойчивой тенденции роста этого параметра.

Запрос судоходных компаний на увеличение надежности барж несмотря на рост стоимости строительства обусловлен рядом причин эксплуатационно-технического и экономического характера.

Важным направлением является включение водного транспорта в систему комбинированных автомобильно-водных перевозок. Перевозки автотранспорта и спецтехники на колесном и гусеничном ходу в условиях слабо развитой автодорожной сети естественным образом образуют специфическую транспортно-логистическую систему. Логично, что требования к характеристикам барж должны находиться в соответствии с параметрами этой системы и требованиями к дорожному покрытию. Представляется, что основным ядром речных судоходных компаний должны стать многоцелевые суда, используемые на всех видах перевозок. Необходимо исследовать требования к судам, исходя из соответствия их параметров условиям транспортно-логистических систем.

Ключевые слова: суда внутреннего водного плавания, характеристики флота, транспортировка автотранспорта.

Щетинин Д.В.

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,
Санкт-Петербург, Россия

Развитие методов и средств виброакустической защиты паротурбинных установок атомных подводных лодок

Одной из основных задач создателей подводных лодок всегда было обеспечение акустической скрытности.

С появлением атомных подводных лодок (АПЛ) были достигнуты большие тактические преимущества перед дизель-электрическими лодками, например длительность и скорость движения в подводном положении. Вместе с огромным увеличением мощности энергетических установок значительно возросло влияние оборудования, механизмов и систем как источников подводного шума. Разработка методов и средств акустической защиты для энергетических установок АПЛ первого поколения основывалась на опыте создания дизель-электрических лодок. В результате отечественные атомные подводные лодки первого поколения обнаруживались иностранными гидроакустическими комплексами.

На этапе проектирования атомных подводных лодок второго поколения были развернуты значительные работы и сформированы фундаментальные направления исследовательских и научных работ, целями которых было:

- уменьшение виброактивности и шумности оборудования (требования по виброшумовым характеристикам оборудования постоянно ужесточались по мере проектирования новых кораблей);
- создание эффективных систем виброизоляции оборудования, разработка амортизирующих креплений опорных и неопорных связей, предотвращающих передачу колебательной энергии от механизмов на корпус корабля;
- внедрение рациональной компоновки оборудования в помещениях корабля.

В докладе на примере паротурбинной установки показаны основные этапы внедрения методов и средств ее виброакустической защиты, направленные на улучшение акустической скрытности атомных подводных лодок.

Ключевые слова: паротурбинная установка, виброшумовые характеристики, атомная подводная лодка, виброизоляция, колебательная энергия, вибрация.

**Шиняев Н.Н.,
Пермяков К.Н.,
Сергодеев В.В.**

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. ак. Е. И. Забабахина,
Снежинск, Россия

Герметичные комбинированные соединители для подводного применения

Для передачи сигналов от бортовой аппаратуры на аппаратуру, расположенную за прочными корпусами, необходимо организовать герметичные электрические линии, проходящие через различные физические среды и переборки глубоководного аппарата.

Электрические линии герметичного кабеля, проходя через водную среду и герметично заделываясь в переборку судового отсека, обеспечивают электрическую связь между различными элементами аппарата с электронной аппаратурой и отвечают в том числе за безопасность и жизнедеятельность системы.

Кабельные цепи обеспечивают прохождение различных сигналов (связи, питания, управления и информационных), при этом минимизация вводов в переборки глубоководного аппарата диктует использование комбинированного контактного поля (низкочастотные и высокочастотные цепи).

Основной технической сложностью при разработке герметичных высокочастотных переходов является разработка герметичных высокочастотных вводов с требуемыми электрическими характеристиками.

Для обеспечения требования технического задания по герметичности (120 атм) единственно возможным решением является применение в составе переходов герметичных изоляционных элементов, изготовленных по технологии металлостеклянных спаев, которая активно применяется на предприятии.

В конструкциях комбинированных соединителей в комплексе решены следующие технические проблемы, влияющие на работоспособность изделий:

- стыковка комбинированных соединителей между собой должна производиться блоком («вслепую»), что обеспечивается унифицированными высокоточными конструктивными элементами корпусов и гермовставок с системой направляющих и ключей;

- герметичный высокочастотный переход должен обладать стабильными электрическими характеристиками, что обеспечивается конструкцией гермовтулки на основе стеклоспая строгой геометрии, выполненного по разработанной технологии двустороннего горячего прессования стекла;
- стабильность электрических характеристик цепей комбинированных соединителей при их многократных подстыковках (минимум 50 соединений) обеспечивается конструкциями электрических цепей на основе соединителей ВМА и SMA.

В результате ОКР разработан комплект герметичных комбинированных соединителей, позволяющий выводить сигнал из приборных отсеков, минуя переборки, на внешнюю аппаратуру. Применение высокочастотных разъемов позволяет обеспечить локацию, передачу радиосигнала, получение сигналов со спутников и др. В случае обрыва кабеля соединители обеспечивают сохранение герметичности, что позволит продолжать выполнять поставленные задачи.

Ключевые слова: соединители, герметизация металлостеклянным спаем, высокочастотный переход, гермовставка, электрическая линия.

**Смольников И.А.,
Иващенко А.В.**

ПАО «Пролетарский завод»,
Санкт-Петербург, Россия

Совершенствование проектируемой оснастки с помощью методов компьютерного моделирования и топологической оптимизации

Прочностной анализ с помощью компьютерного моделирования позволяет оптимизировать массогабаритные качества конструкции, а также снизить материальные расходы при изготовлении.

Целью работы является нахождение способа увеличения прочности и жесткости детали, а также снижение массы для удобства пользования.

За образец было взято реальное приспособление оснастки – «Грузовой захват». В ходе работы получилось снизить вес конструкции на $\approx 42\%$, снизились линейные перемещения от деформации на 33% .

Работа демонстрирует ряд технических улучшений: взяв за основу уже имеющиеся приспособление и изменяя его топологию, получилось достичь облегчения конструкций без снижения прочностных качеств.

Ключевые слова: топологическая оптимизация, компьютерное моделирование, оснастка, оптимизация производства.

Портнова О.С.,
Плаксин Р.А.,
Андрюхина П.А.

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»
Владивосток, Россия

Комплексная методика диагностики и наладки судового энергетического оборудования

Качественная оценка технического состояния судового оборудования в процессе монтажа и эксплуатации невозможна без применения в настоящее время компьютерного (цифрового) инжиниринга.

В процессе работы инженеры по наладке нового оборудования сталкиваются со сложностями из-за отсутствия необходимых механизмов качественной оценки дефектов и, соответственно, выбора алгоритмов проведения работ по устранению таковых. Кроме того, применение цифровых технологий позволяет значительно уменьшить объем ненужных данных, указать конкретные точки установки датчиков и необходимые характеристики, которые нужны для оценки технического состояния данного объекта.

Использованные методы позволяют определить причины повышенной вибрации оборудования, диагностировать дефекты оборудования и фундаментов, получить прогноз поведения объекта в процессе эксплуатации и сократить время наладки и ремонта оборудования.

Целью работы является разработка комплексной инженерной методики наладки роторного оборудования, учитывающей его дефекты при монтаже и в процессе эксплуатации. К таким дефектам относятся:

наличие или появление в эксплуатации дисбаланса, расцентровка оборудования, нарушение жесткости опорной конструкции (трещины, прогибы опор), появление изгибных колебаний и т.д.

При выполнении работы использовался экспериментальный стенд для исследования изгибных и крутильных колебаний, методы модального анализа, эмпирические исследования, модель цифрового двойника.

Данные, полученные прогнозированием, позволили сбалансировать экспериментальную установку с максимальной амплитуды 32 мкм до максимальной амплитуды 8 мкм. I этап лабораторных исследований в области применения комплексной методики при виброналадке оборудования показал свою эффективность: прогнозируемые расположения дисбалансов и их реальные расположения на экспериментальной установке совпадают с точностью 14 %.

Ключевые слова: вибрация, цифровой двойник, диагностика, наладка, валидация математических моделей.

**Вынгра А.В.,
Соболев А.С.,
Ерофеев П.А.**

ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», Керчь, Россия

Модели устройств повышения качества электроэнергии судовой сети на основе нейронных сетей

Актуальность работы обуславливается широким развитием и распространением на судах электронной техники, требующей высоких показателей качества электроэнергии для корректной и надежной работы.

Целью работы является изучение возможностей применения нейронных сетей в системах мониторинга и управления показателями качества электроэнергии судовых электроэнергетических систем.

Моделирование и разработка нейронной сети для интеграции в систему управления активным фильтром производились с помощью

программы имитационного компьютерного моделирования электрических схем Matlab/Simulink.

В статье рассматриваются аспекты нормирования и контроля качества электроэнергии судовой сети. В модель внедрено устройство повышения качества электроэнергии в виде параллельного активного фильтра, работающего на основе обученных нейронных сетей. Моделирование показало высокую эффективность работы устройства в части снижения уровня гармонического искажения судовой сети.

В ходе исследования разработана модель повышения качества электроэнергии судовой сети с применением активных фильтров. Проанализированы полученные данные работы активного фильтра с алгоритмами работы на основе нейронных сетей. Выявлены сильные и слабые стороны выбранного и реализованного метода, определен дальнейший вектор проведения исследований.

Ключевые слова: нейронные сети, гармонические искажения, показатели качества электроэнергии, судовая сеть.

**Авдеев Б.А.,
Черный С.Г.,
Соболев В.С.**

ФГБОУ ВО «Керченский государственный
морской технологический университет»,
Керчь, Россия

Разработка электроэнергетической системы автономных подводных аппаратов на основе твердотельного трансформатора

Актуальность работы обуславливается широким развитием автономных подводных аппаратов (АПА), требующих высоких показателей качества управления для корректной и надежной работы.

Целью работы является поиск наиболее оптимальных и эффективных систем электроснабжения АПА для экономичного и надежного управления, в частности – использование малогабаритных твердотельных трансформаторов.

Исследование производилось с помощью имитационного компьютерного моделирования электрических схем и регуляторов в системе Matlab/Simulink.

В статье рассматриваются результаты моделирования работы электроэнергетической системы АПА, включающей в себя источник электроэнергии в виде аккумуляторной батареи, многоканальный преобразователь на основе твердотельного трансформатора, гребного электродвигателя и прочей нагрузки постоянного тока. Определены показатели качества работы твердотельного трансформатора и эффективности работы гребного электродвигателя.

В ходе моделирования определены оптимальные настройки электроэнергетической системы АПА на основе твердотельного трансформатора, проанализированы полученные данные работы гребного электродвигателя. Выявлены сильные и слабые стороны работы силового преобразователя, определен дальнейший вектор проведения исследований.

Ключевые слова: автономный подводный аппарат, электродвижущие, твердотельный трансформатор, управление.

Лойко Д.В.,
Куценко Н.В.,
Грибиниченко М.В.

Политехнический институт (школа) Дальневосточного федерального университета, Владивосток, Россия

Разработка методики перехода к обслуживанию по фактическому состоянию агрегатов судовой энергетики

Вибродиагностика – это один из методов неразрушающего контроля. Данный метод позволяет, не разбирая механизм, узнать о его техни-

ческом состоянии и широко применяется для определения износа промышленных агрегатов и транспорта, такого как железнодорожный или авиационный.

Вместе с тем в судовой энергетике данный метод не получил должного развития. Связано это прежде всего с трудностью определения остаточного эксплуатационного ресурса судовых механизмов и высокой вероятностью возникновения аварийной ситуации вследствие необычайно быстрого развития того или иного дефекта. На основании этого Российский морской регистр судоходства долгое время был против внедрения на судах обслуживания по фактическому состоянию.

Однако в связи с ростом стоимости запасных частей, длительного ожидания поставок зарубежных комплектующих, увеличением сроков ремонта и докования все чаще судовладельцы обращаются к вибродиагностике и переходят на систему непрерывного освидетельствования. Детальное обследование судовых механизмов и периодическое наблюдение позволяют отказаться от длительного ремонта, и увеличить межремонтный интервал. Поэтому внедрение вибродиагностики в судовой энергетике является актуальной задачей.

Целью работы является создание методологии повышения достоверности прогноза остаточного ресурса агрегатов судовой энергетике.

При разработке методологии используются проверка теорий на лабораторных стендах, математическое моделирование, обследование судовых агрегатов на действующих судах и сравнение результатов ожидаемого прогноза и фактического состояния, периодический мониторинг и наблюдение изменений состояния главных механизмов во времени.

Результаты на лабораторных стендах показали, что имеющиеся модели удовлетворяют всем необходимым требованиям, но не лишены при этом изъянов и погрешностей. Проводится корректировка моделей при получении новых знаний. При обследовании агрегатов на судне отрабатываются подходы к обследованию и мониторингу. Результаты показывают увеличение точности прогнозов и соответствие ожидаемым результатам. Мониторинг позволяет во времени наблюдать за изменением состояния дефектов и улучшать длительные прогнозы.

Разработка методологии позволит расширить внедрение вибродиагностики на судах, увеличить срок межремонтного интервала, упростить процедуру освидетельствования судна и тем самым сократить затраты судовладельцев на техническое обслуживание.

Ключевые слова: вибродиагностика, неразрушающий контроль, прогноз ресурса, обследование, дефект, морская энергетика.

Гомонов Д.И.

АО «Кронштадтский морской завод», Кронштадт, Россия

Цифровизация в судоремонтной отрасли

Одним из важнейших событий в мировой экономике является четвертая промышленная революция, которая подразумевает широкое внедрение цифровых технологий и искусственного интеллекта. Она внесет значительные изменения в рынок труда, социальную и экономическую сферы, развитие технологического прогресса и повседневную жизнь человечества.

Целью работы является совершенствование процесса подготовки производства судоремонтного предприятия с использованием цифровых технологий.

В ходе исследования рассмотрены следующие темы:

- эволюция развития процесса передачи, хранения и обмена информацией;
- термин «цифровизация», а также примеры цифровизации из повседневной жизни;
- структура докового ремонта с указанием основных частей и механизмов;
- пример в рамках конструкторской, технологической, материально-технической и организационно-плановой подготовки производства изделия судового машиностроения;
- поиск закономерностей для внедрения цифровизации в производственные процессы;
- формирование массива информации единой цифровой платформы между судоремонтными предприятиями в условиях географического расположения судоремонтных предприятий в России, а также создание единого центра управления;
- внедрение цифровизации при использовании реверсивного инжиниринга.

Итогом проделанной работы является разработанная концепция цифровой платформы оперативной подготовки производства.

Практическая ценность работы заключается в использовании цифровой платформы всеми судоремонтными предприятиями в секторе АО «ОСК».

Предложенное решение позволит оптимизировать производственную систему предприятий и приведет к снижению временных потерь, избытка

товарно-материальных ценностей, улучшит качество продукции путем снижения производственного брака, а также обеспечит бесперебойный процесс наполнения информацией цифровой платформы с дальнейшим хранением и передачей заинтересованным потребителям.

Ключевые слова: цифровизация, подготовка производства, доковый ремонт, управление предприятием, реверсивный инжиниринг, цифровая платформа хранения баз данных.

**Голубев Р.О.,
Столяров С.П.**

АО «ЦМКБ «Алмаз», Санкт-Петербург, Россия
ФГБОУ ВО «СПбГМТУ», Санкт-Петербург, Россия

Разработка комплексной термоэлектрической системы глубокой утилизации теплоты для объектов морской техники

Включение системы глубокой утилизации теплоты (СГУТ) в состав энергетической установки (ЭУ) – один из основных способов повышения экономичности, автономности и экологичности проекта судна. Применение наиболее распространенного типа СГУТ – паротурбинных – ограничено условиями размещения на борту и режимными параметрами ЭУ. Освоение судостроительной промышленностью технологии термоэлектрогенерации расширит область эффективного применения СГУТ.

Задаче внедрения термоэлектрических СГУТ на флоте соответствует уточнение условий их эффективного применения, необходимое ввиду того, что работа перспективной системы основана на физических принципах, отличных от реализуемых в паротурбинной СГУТ, а свойства самих термоэлектриков постоянно улучшаются.

На основании анализа существующих ограничений для применения СГУТ на флоте и опыта освоения ТЭГ в энергетическом машиностроении были составлены рекомендации по конструктивному совершенствованию генераторов данного типа и проработаны схемные решения для теплоутилизационной системы, в которой используется бросовое

тепло большинства рабочих сред ЭУ. С учетом известных подходов к проектированию ТЭГ была сформулирована математическая модель проектного расчета унифицированного утилизационного генератора. Ее верификация была выполнена по результатам лабораторных испытаний ряда конструктивно подобных ТЭГ. Анализ эффективности применения термоэлектрической СГУТ выполнялся для проектов корветов разработки АО «ЦМКБ «Алмаз», характеризующихся высоким энергопотреблением, компактностью машинных помещений и ограниченными возможностями по обслуживанию оборудования ЭУ на ходу.

Для применения в составе СГУТ была разработана полезная модель унифицированного утилизационного ТЭГ морского исполнения (патент № 217290). Автоматизированное проектирование ТЭГ в соответствии с данной полезной моделью было обеспечено реализацией математической модели проектного расчета ТЭГ в форме программы для ЭВМ (свидетельство о гос. регистрации № 2023615587). Расчеты в программе в частности показали, что на экономическом ходу утилизацией в ТЭГ тепловых потерь главных двигателей с отработавшими газами, наддувочным воздухом, охлаждающей водой и смазывающим маслом возможно обеспечить на корветах с дизельной ЭУ до 40 % общекорабельной потребности в электроэнергии с соответствующим увеличением дальности плавания более чем на 5 %. В этом варианте на ТЭГ для отработавших газов приходится более 55 % мощности СГУТ и лишь порядка 7 % ее массы.

Применение термоэлектрических СГУТ – это оправданное техническое решение для объектов морской техники с высоким уровнем тепловых потерь ЭУ и повышенными требованиями к надежности, простоте обслуживания, виброакустическим и массогабаритным показателям ее оборудования.

Ключевые слова: корвет, система глубокой утилизации теплоты, термоэлектрический генератор (ТЭГ), энергетическая установка.

**Райская С.Д.,
Ломакин И.А.,
Григоров М.Ю.**

«СПМБМ «Малахит», Санкт-Петербург, Россия
ФГУП «Крыловский государственный научный центр,
Санкт-Петербург, Россия
ФГБОУ «Санкт-Петербургский государственный морской технический
университет», Санкт-Петербург, Россия

Мировой опыт развития обитаемых подводных аппаратов предельных глубин погружения

В работе приведен анализ основных этапов развития обитаемых подводных аппаратов с точки зрения повышения их эффективности, улучшения технико-эксплуатационных характеристик и используемого оборудования на основе научно-технических достижений. Объектом исследования является компоновка технических решений, применяемых при конструировании таких объектов. Цель работы – сформулировать актуальные направления развития элементов перспективных обитаемых подводных аппаратов. Рассмотрена история их проектирования от относительно простых технических решений до передовых разработок, проанализированы конструктивные особенности различных аппаратов, их достоинства и недостатки.

Основываясь на анализе ежегодного роста мирового спроса на энергоресурсы, ведения поисковых, аварийно-спасательных и научно-исследовательских работ по изучению Мирового океана, можно утверждать несомненную востребованность глубоководных средств, необходимость их дальнейшего развития и все более широкого внедрения в практику морской деятельности.

Современный уровень развития техники, в частности в области создания систем автоматического управления, обеспечивает решение многих практических задач под водой с использованием необитаемых подводных аппаратов различных типов, что, очевидно, безопаснее и дешевле. Однако современные автономные аппараты имеют значительные перспективы использования в качестве эффективного средства детального исследования объектов и выполнения сложных работ на больших

глубинах по сравнению с необитаемыми аппаратами.

Обитаемые подводные аппараты предельных глубин погружения являются одними из наиболее технически сложных (и дорогостоящих) объектов, создаваемых судостроительной промышленностью. Высокие технико-эксплуатационные характеристики могут быть обеспечены только комплексным применением передовых научно-технических достижений в области развития практически всех элементов аппарата, причем в условиях жестких ограничений по его массе и габаритам. Создание таких аппаратов всегда сопряжено с необходимостью выполнения большого объема ОКР.

Проведенный анализ этапов конструирования глубоководной техники позволяет сформулировать актуальные направления развития современных обитаемых подводных аппаратов. Основные из них связаны с решением следующих задач:

- дальнейшее улучшение массогабаритных характеристик всего оборудования;
- создание прозрачного конструкционного материала на основе акрила, работоспособного на больших глубинах, для изготовления панорамных иллюминаторов и прочного корпуса в целом;
- создание малогабаритных высокопроизводительных погружных насосов;
- создание комбинированного композитного легковесного заполнителя на основе макросфер, размещаемых в сферопластике.

Ключевые слова: обитаемый подводный аппарат, прочный корпус, легковесный заполнитель, технико-эксплуатационные характеристики.

Бахтин Д.С.

АО «ЦНИИ «КУРС», г. Москва, Россия

Критерии выбора систем подводного позиционирования при поиске объектов

В статье рассматриваются существующие конструктивные решения и критерии выбора систем подводного позиционирования (СПП). Отмечается, что в зависимости от решения задач высокоточного позициони-

рования при разных условиях во время движения судна вдоль заданного профиля используются навигационные комплексы, которые обеспечивают различное качество передачи сигналов коррекции от гидролокаторов, многолучевых эхолотов и инерциальной навигационной системы по кабелю.

Целью исследования является рассмотрение критериев выбора в области СПП. Через обмен данными осуществляется коррекция инерциальной навигационной системы с использованием технологической программы исследования донной поверхности

Изучение шельфа, проведение поисково-спасательных операций и привязки к объектам на дне океанов и морей являются одними из актуальных задач. С применением данных инструментов проводятся исследования с помощью подводных универсальных многоцелевых буксируемых комплексов, охватывающие широкий спектр задач,

В данной работе рассмотрен порядок расчета псевдодальности, фазы и псевдоскорости с использованием следующих методов.

Варианты определения треугольника:

- по основанию и двум дальностям, измеренным из обеих опорных точек до искомой, в этом случае мы говорим о трилатерации;
- по основанию и двум углам, что именуется триангуляцией.

В случае мультилатерации углы и расстояния до искомой точки неизвестны, но известна разность расстояний (например, известны задержки между приходом сигнала на разные опорные точки). Время прихода сигнала, умноженное на скорость распространения сигнала, называется псевдодальностью.

По результатам исследования критериев выбора гидроакустической навигационной системы отмечается, что применение ГАНС с УКБ является наиболее компактным, универсальным решением для широкого круга задач.

Ключевые слова: гидроакустическая навигационная система (ГАНС), система высокоточного позиционирования, ультракороткая база (УКБ), короткая база, длинная база.

**Родькина А.В.,
Крамарь В.А.,
Иванова О.А.,
Крамарь О.А.,
Сидорова А.А.**

Севастопольский государственный университет,
Севастополь, Россия

Методика компьютерного анализа функциональных свойств подводной части морских объектов на основе системы технического зрения

В настоящее время в связи с широким применением морских объектов при освоении континентального шельфа в регионах со сложными климатическими условиями остро встает вопрос постоянного подводного мониторинга конструкций данных объектов с целью предотвращения их коррозионно-механических разрушений.

Цель исследования: разработка методики прогнозирования возможных причин коррозионно-механических разрушений и сроков дальнейшей эксплуатации подводных конструкций морских объектов на основе определения уровня износа посредством мониторинга функциональных свойств.

Выполнен анализ современных методов, программных алгоритмов и инструментов моделирования окружающего естественного мира при помощи математических алгоритмов. Нейронная сеть определена как наилучший инструмент распознавания разнообразных образов, отличающихся по природе, сложности и т.д. Разработан алгоритм обнаружения определенных цветов на изображении. Далее был проведен компьютерный анализ снимков микроскопии поверхностного слоя стали (чистая поверхность; поверхность при условии непрерывного погружения в модельный раствор морской воды; поверхность при условии района переменной ватерлинии). Базируясь на линиях тренда, полученных на основе массива результатов микроскопии различных смоделированных поверхностей образцов, выведены закономерности, представленные в формулах зависимости процентного содержания кислорода, хлора и натрия от RGB тона серого цвета изображения поверхностного слоя образца. Однако

полученные графики для одного и того же цвета предлагают два варианта набора «натрий – хлор – кислород», а именно для условий непрерывного погружения стали в морскую воду, что соответствует подводной части морских объектов, и для условий района переменной ватерлинии этих объектов. В качестве дополнительной характеристики, позволяющей определить принадлежность исследуемой поверхности к тем или иным условиям, принята остаточная толщина металла. Методика прогнозирования реализуется в виде программы компьютерного анализа данных для прогнозирования защитного потенциала судостроительных сталей с учетом расположения исследуемого фрагмента поверхности относительно морской поверхности. В программе предусмотрено разделение всех судов по условиям коррозионного износа (в соответствии с Правилами Регистра) на две группы: 1) сухогрузные суда и аналогичные им по условиям эксплуатации; 2) наливные суда, суда для навалочных грузов, комбинированные суда и аналогичные им по условиям эксплуатации.

Для прогнозирования сроков дальнейшей эксплуатации морского объекта в программу необходимо ввести: монохромное фото, остаточную толщину металла (S_0), срок эксплуатации судна на момент его исследования (T_n) и исходную толщину металла (S). Программа решает регрессионную задачу и вычисляет площади, соответствующие определенным цветам изображения, и процентное содержание кислорода, натрия и хлора. Зная исходную толщину металла, программа рассчитывает среднегодовое уменьшение толщины для наружных конструкций морских объектов под водой и в районе переменной ватерлинии. Затем определяется теоретическое значение остаточной толщины металла и сопоставляется с полученным с помощью ультразвукового контроля реальным значением толщины металла на данный период времени. В результате решается классификационная задача, отвечающая на вопрос наличия ресурса у металла для дальнейшей эксплуатации: если толщина теоретическая больше чем реальная, то следует заменить конструкцию. Применение разработанной программы в сочетании с роботизированным подводным аппаратом позволит снизить затраты и риск нанесения ущерба здоровью высококвалифицированного персонала и уменьшит риск возникновения техногенных катастроф при освоении и использовании Мирового океана и Арктики за счет возможности постоянного мониторинга подводных конструкций стационарных объектов.

Ключевые слова: нейронная сеть, коррозионно-механические разрушения, защита от коррозии, толщина металла.

Подписано в печать 18.04.24. Формат 70×100/16.
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 3. Тираж 100 экз.

Издание ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

196158, Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44
www.krylov-centre.ru



ИНФОРМАЦИОННО-
ИЗДАТЕЛЬСКИЙ
ЦЕНТР